

POUSO DE FOGUETE

Gabriel Pinheiro - 10336595

Pedro Andrade - 10774653

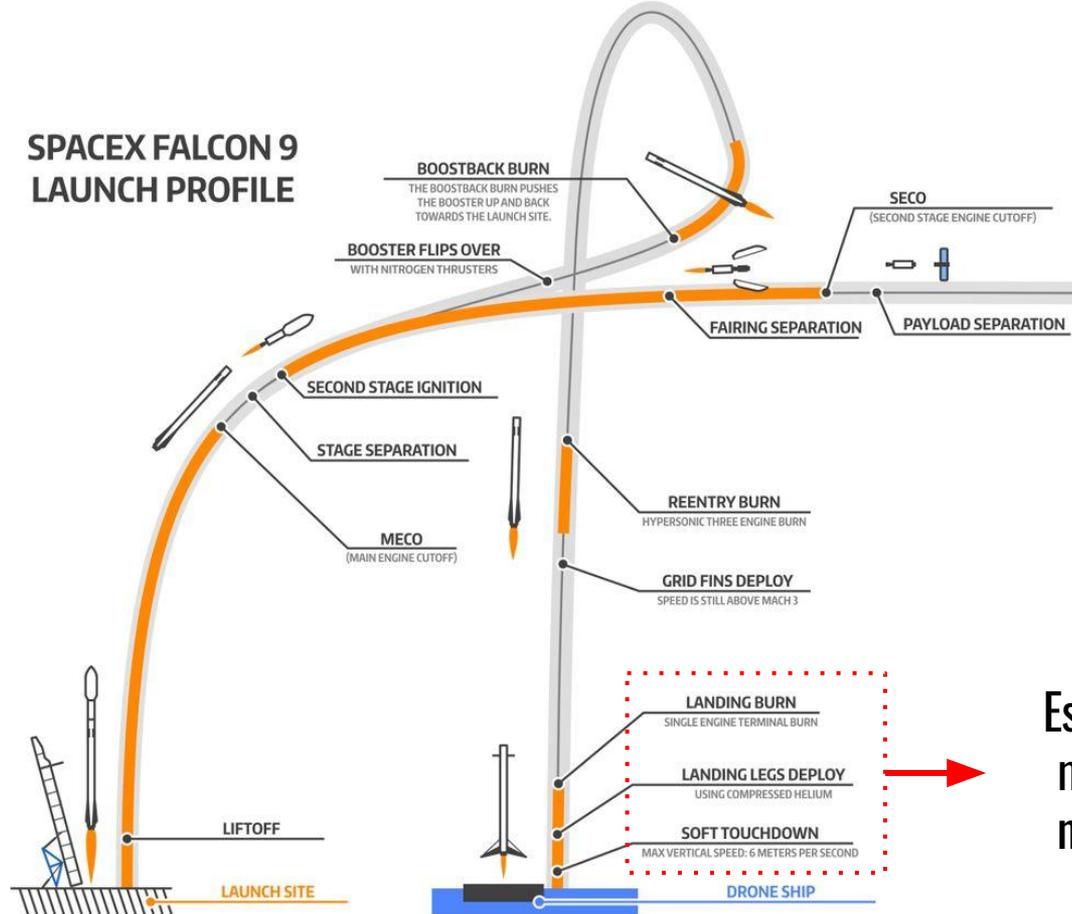
Pedro Jovaneli - 10773760

Vitor Lourencini - 8956387



Modelo Real

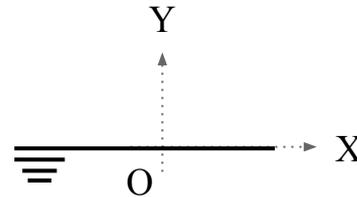
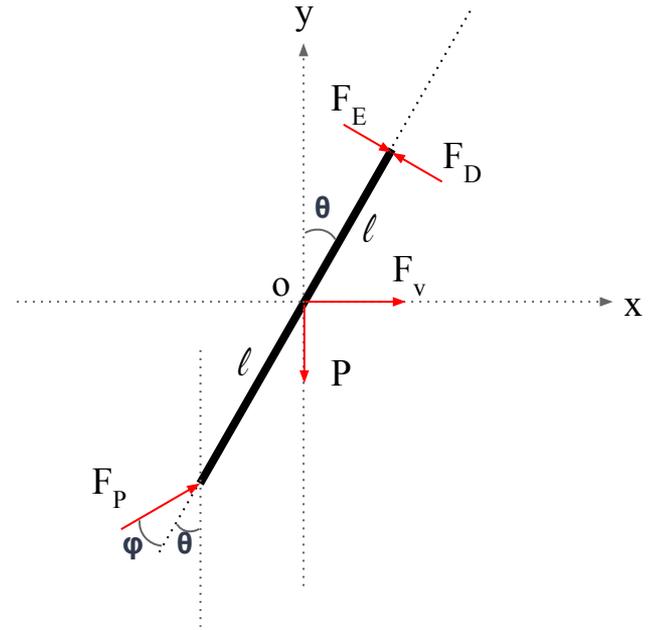
SPACEX FALCON 9 LAUNCH PROFILE



Esta parte será
modelada em
nosso projeto

Modelo físico e Hipóteses simplificadoras

- Foguete se desloca exclusivamente no plano vertical;
- Devido a baixa velocidade do corpo, forças de arrastamento devido a velocidade serão desprezadas;
- O ângulo de rolagem será considerado pequeno;
- Diâmetro do foguete é muito menor que sua altura;
- Massa do foguete é constante;
- Considerasse os propulsores como pontuais;
- Baricentro no centro geométrico da barra;
- Corpo infinitamente rígido;
- Efeitos da rotação terrestre desprezíveis;
- Força do vento será apenas no eixo x.



Dinâmica e Linearização

- Equações Diferenciais Ordinárias;
- Criação do espaço de estados.

$$m\ddot{x} = F_v + F_e \cos\theta - F_d \cos\theta + F_p \sin(\theta + \varphi)$$

$$m\ddot{y} = F_d \cos(\theta + \varphi) - F_e \sin\theta + F_d \sin\theta - P$$

$$J_o \ddot{\theta} = F_e l - F_d l - F_p \sin\varphi l$$

Com

$$\sin(\theta + \varphi) = \sin\theta \cos\varphi + \sin\varphi \cos\theta = \theta \times \cos\varphi + \sin\varphi \times 1$$

$$\cos(\theta + \varphi) = \cos\theta \cos\varphi - \sin\varphi \sin\theta = 1 \times \cos\varphi + \sin\varphi \times \theta$$

$x_1 = x$	$\dot{x}_1 = x_2$	$= f_1(x_2)$
$x_2 = \dot{x}$	$\dot{x}_2 = [F_v + F_e - F_d + F_p \sin(\theta + \varphi)]/m$	$= f_2(F_v, F_e, F_d, F_p, \theta, \varphi)$
$x_3 = y$	$\dot{x}_3 = x_4$	$= f_3(x_4)$
$x_4 = \dot{y}$	$\dot{x}_4 = [F_p \cos(\theta + \varphi) - F_e \theta + F_d \theta - P]/m$	$= f_4(F_p, F_e, F_d, P)$
$x_5 = \theta$	$\dot{x}_5 = x_6$	$= f_5(x_6)$
$x_6 = \dot{\theta}$	$\dot{x}_6 = [F_e l - F_d l - F_p \sin\varphi l]/J_o$	$= f_6(F_e, F_d, F_p, \varphi)$

Dinâmica e Linearização

- Aplicação da expansão de Taylor.

$$f_1(x_2) = f_1(\bar{x}_2) + \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(x_2 - \bar{x}_2)$$

$$f_2(F_v, F_e, F_d, F_p, \theta, \varphi) = f_2(\bar{F}_v, \bar{F}_e, \bar{F}_d, \bar{F}_p, \bar{\theta}, \bar{\varphi}) + \frac{\partial f_2}{\partial F_v}(F_v - \bar{F}_v) + \frac{\partial f_2}{\partial F_e}(F_e - \bar{F}_e) \\ + \frac{\partial f_2}{\partial F_d}(F_d - \bar{F}_d) + \frac{\partial f_2}{\partial F_p}(F_p - \bar{F}_p) + \frac{\partial f_2}{\partial \theta}(\theta - \bar{\theta}) + \frac{\partial f_2}{\partial \varphi}(\varphi - \bar{\varphi})$$

$$f_3(x_2) = f_3(\bar{x}_4) + \frac{\partial f_3}{\partial x_4}(x_4 - \bar{x}_4)$$

$$f_4(F_e, F_d, F_p, P, \theta, \varphi) = f_2(\bar{F}_e, \bar{F}_d, \bar{F}_p, \bar{P}, \bar{\theta}, \bar{\varphi}) + \frac{\partial f_2}{\partial F_e}(F_e - \bar{F}_e) + \frac{\partial f_2}{\partial F_d}(F_d - \bar{F}_d) \\ + \frac{\partial f_2}{\partial F_p}(F_p - \bar{F}_p) + \frac{\partial f_2}{\partial P}(P - \bar{P}) + \frac{\partial f_2}{\partial \theta}(\theta - \bar{\theta}) + \frac{\partial f_2}{\partial \varphi}(\varphi - \bar{\varphi})$$

$$f_5(x_6) = f_5(\bar{x}_6) + \frac{\partial f_5}{\partial x_6}(x_6 - \bar{x}_6)$$

$$f_6(F_e, F_d, F_p, \varphi) = f_2(\bar{F}_e, \bar{F}_d, \bar{F}_p, \bar{\varphi}) + \frac{\partial f_2}{\partial F_e}(F_e - \bar{F}_e) + \frac{\partial f_2}{\partial F_d}(F_d - \bar{F}_d) + \frac{\partial f_2}{\partial F_p}(F_p - \bar{F}_p) \\ + \frac{\partial f_2}{\partial \varphi}(\varphi - \bar{\varphi})$$

Linearização

- Matrizes Jacobiana e de Entradas

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (\bar{F}_p \cos \bar{\varphi})/m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (-\bar{F}_p \sin \bar{\varphi} - \bar{F}_e + \bar{F}_d)/m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/m & 1/m & -1/m & [\bar{\theta} \cos \bar{\varphi} + \sin \bar{\varphi}]/m & \bar{F}_p [-\bar{\theta} \sin \bar{\varphi} + \cos \bar{\varphi}]/m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\theta/m & \theta/m & \cos(\bar{\varphi} + \bar{\theta})/m & \bar{F}_p [-\sin \bar{\varphi} + \cos \bar{\varphi} \bar{\theta}]/m & -1/m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l/J_o & -l/J_o & -\sin \bar{\varphi} l/J_o & \bar{F}_p \cos \varphi l/J_o & 0 \end{bmatrix}$$

Conclusão

- Modelo que representa o foguete imediatamente antes do contato com o solo;
- Sistema linearizado de sexta ordem;
- Matriz de entradas possui grande impacto no modelo;
- Modelo criado se assemelha aos resultados encontrados nos trabalhos de referência.

Referências

- [1] Ferrante, R. «A Robust Control Approach for Rocket Landing». Em: (2017).
- [2] Guerrero, V. A., Barranco, A. e Conde, D. «Active Control Stabilization of High Power Rocket». Em: (6-2018).
- [3] Liu, X. «Fuel-Optimal Rocket Landing with Aerodynamic Controls». Em: *Journal of Guidance Control and Dynamics* September 2018 (2018). DOI: <10.2514/1.G003537>.
- [4] Pascucci, C. A., Bennani, S. e Bemporad, A. «Model Predictive Control for Powered Descent Guidance and Control». Em: *European Control Conference (ECC)* 15th-17th July, 2015 (2015).
- [5] Tan, B. e Wheeler, T. «AA203 Final Project: Optimal Control for Landing Rockets». Em: (Spring 2014).